

VŠB – Technická Univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Ověření homogenity materiálových a kvalitativních vlastností vyráběného produktu

Homogeneity Verification of Quality Parameters for Produced Final Product

Student:

Vladimír Mičo

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Povýšil, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Vladimír Mičo**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Ověření homogenity materiálových a kvalitativních vlastností
vyráběného produktu**
**Homogeneity Verification of Quality Parameters for Produced Final
Product**

Zásady pro vypracování:

1. proveďte teoretický rozbor kvalitativní parametrů měřitelných na produktu
2. proveďte návrh experimentu pro statistické vyhodnocení vzorku výroby
3. proveďte vyhodnocení sledovaných kvalitativních parametrů po zpracování na hotovém výrobku
4. vyhodnoťte výrobní rizika na základě zjištěných hodnot provedené výstupní kontroly sledovaných parametru s ohledem na riziko zákaznické reklamace

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B. *Tváření oceli*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988, 520s. DT 669.14; 621.77(075.8)
[2] MIELNIK, E. H. *Metalworking science and engineering*. 2.vyd. New York: McGraw-Hill, 1991, 976s., ISBN 0-07-041904-3
[3] TOŠENOVSKÝ, J., NOSKIEVIČOVÁ, D. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava: Montanex. 2000, 362s., ISBN 80-7225-040-X

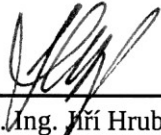
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Povýšil, Ph.D.**


Konzultant bakalářské práce: Bc. Ondřej Vican

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013


prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Šumperku 20.5.2013

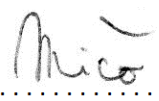
Mico

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на svědomі, že Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užívat dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Šumperku 20.5.2013


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Vladimír Mičo

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Pod Trámky 64, Vikýřovice 788 13

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MIČO, V. *Ověření homogenity materiálových a kvalitativních vlastností vyráběného produktu : bakalářská práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2013, 22 s. Vedoucí práce: Povýšil, J.

Bakalářská práce experimentálně vyhodnocuje materiálové a kvalitativní vlastnosti, jejich stejnorodost ve struktuře po celé délce zkušebních vzorků, zapůjčených firmou OSRAM Bruntál. Úvodem práce popisuji základní teorii tažení drátu, následně charakteristické vlastnosti samotného wolframu a jeho použití v praxi. V dalších pasážích práce předkládám informace o měřicích přístrojích a samotném experimentu. Závěrem shrnuji všechny podstatné přínosy experimentální části a vyhodnocuji celé testování homogenity materiálu.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

Mico, V. *Verification of the homogeneity of the material and quality characteristics of manufactured product: Thesis.* Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Technology, 2013, 22 pp. Supervisor: Povýšil, J.

Bachelor thesis experimentally evaluates the material and qualitative properties of homogeneity in the structure, the entire length of the specimens, lent by OSRAM Bruntál. First of all, I mention some information about the history of the company and give an overview of production activities. In the next chapter I describe the basic theory of wire drawing, then the characteristic properties of the tungsten and molybdenum using these metals in practice. In other passages, the work provides information on measuring instruments and the actual experimental section, which is described in detail each of the measurements. The conclusion summarizes all the essential benefits of the experimental test and evaluate the homogeneity of the material.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	- 3 -
ÚVOD	- 4 -
1. HISTORIE FIRMY OSRAM	- 5 -
2. PRODUKCE FIRMY	- 6 -
3. PRINCIP TAŽENÍ DRÁTU	- 8 -
3.1 Průvlaky:	- 10 -
3.2 Maziva:	- 11 -
4. VYSOKOTAVITELNÉ KOVY	- 12 -
4.1 Wolfram	- 12 -
4.2 Molybden	- 14 -
5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	- 15 -
5.1 Měření průměru	- 15 -
5.2 Měření odporu drátu	- 16 -
5.3 Měření pevnosti drátu	- 17 -
6. VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU:	- 19 -
7. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZŮ :	- 20 -
8. SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK :	- 20 -
9. POUŽITÁ LITERATURA:	- 21 -

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Značka	Popis	Jednotka
A	tažnost	[%]
D_o	vstupní průměr drátu	[mm]
F	tahová síla	[N]
L_0	počáteční délka drátu	[mm]
L_n	délka drátu	[mm]
L_1	vnější šířka cívky	[mm]
L_2	vnitřní šířka cívky	[mm]
N	vertikální složka tahové síly	[N]
Q	příčná síla	[N]
\bar{Q}	poměrný plošný úběr	[%]
R	elektrický odpor materiálu	[Ω]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu	[MPa]
S_0	počáteční průřez drátu	[mm ²]
S_1	průřez drátu	[mm ²]
S_2	průřez drátu	[mm ²]
S_n	průřez drátu	[mm ²]
d_0	vstupní průměr drátu	[mm]
d_1	výstupní průměr drátu	[mm]
d_1	kalibrační průměr	[mm]
d_2	průměr jádra	[mm]
d_3	průměr objímky	[mm]
e_1	skutečná deformace	[-]
h_2	výška jádra	[mm]
h_3	výška objímky	[mm]
l	délka kuželovité části průvlaku	[mm]
l_d	délka pracovní části průvlaku	[mm]
l_1	délka vstupní části průvlaku	[mm]
l_2	délka tažné části průvlaku	[mm]
l_3	délka výstupní části průvlaku	[mm]
2α	tažný úhel	[°]
α	úhel průvlaku (tažný úhel)	[°]
v_0	rychlost drátu	[m/s]
v_1	rychlost drátu	[m/s]
v_2	rychlost drátu	[m/s]
v_n	rychlost drátu	[m/s]
2β	úhel vstupní části jádra	[°]
2γ	úhel výstupní části jádra	[°]
Δl	absolutní prodloužení	[mm]
ε_l	poměrné prodloužení	[%]
λ	součinitel prodloužení	[-]
μ	koeficient tření	[-]
ρ	třecí úhel	[°]
σ	střední tlakové napětí	[MPa]
σ_l	podélná složka tahového napětí	[MPa]
σ_t	tangenciální složka tahového napětí	[MPa]
σ_r	radiální složka tahového napětí	[MPa]
τ	smyskové napětí	[MPa]

ÚVOD

Tato práce je zaměřením na statistické vyhodnocení materiálových a kvalitativních vlastností vzorků produkovaných a zapůjčených firmou OSRAM, se sídlem v Bruntále. Jedná se o tažený drát s rozdílným datem výroby a s rozdílnými vlastnostmi. Hlavním důvodem prováděných zkoušek je vyhodnocení homogenity po celé délce drátu.

Testováno bylo 127 vzorků a každý z nich podlehl zkoušení průměru drátu, zkoušení odporu a zkoušce tahem. Všech pět testovacích cívek s označením A, B, C, D, E bylo rozděleno na vzorky stejné délky.

Vzorek A obsahoval 23 vzorků

Vzorek B obsahoval 25 vzorků

Vzorek C obsahoval 23 vzorků

Vzorek D obsahoval 29 vzorků

Vzorek E obsahoval 27 vzorků

Převinuté cívky, tedy všechny vzorky, byly po své délce měřeny vždy třikrát. Z těchto výsledků byly následně programem Excel, za použití statistických metod, vyhodnoceny výsledky obsaženy v Technické zprávě. [16]

1. HISTORIE FIRMY OSRAM



Obrázek 1. Logo firmy OSRAM [1]

Firma OSRAM, v České republice zastoupena především svoji Bruntálskou pobočkou, je nyní přední výrobce, co se světelných zdrojů týče. Proto je důležité informovat o některých důležitých momentech z historie této celosvětové společnosti.

Srdce výrobce vzniklo v Německu, již na začátku minulého století a to v roce 1906, kdy firma provedla registraci svojí ochranné známky. Na počátku obnovování průmyslu na západě, po I. světové válce firmu OSRAM tvořili tři významné podniky. Jednalo se o Siemens & Halske, Deutsche Glasglühlicht a AEG. Všichni tito přední výrobci se spojili a počali společnou výrobu žárovek pod znakem firmy OSRAM. **Obr.1.**

V Česku bylo poprvé možno zakoupit žárovky s logem výrobce OSRAM až v roce 1919. Po třech letech zde firma také otevřela továrnu a úspěch na sebe nenechal dlouho čekat. Po jisté době došlo k otevření skladů i v dalších městech. Ovšem po válce byly tyto zásobárny zestátněny a staly se součástí národního podniku TESLA. Do České republiky se firma se svým obchodním zastoupením vrátila až v roce 1994.

Závod Bruntál otevřel své brány světu již v roce 2000. Výroba zde probíhá v nově vystavěných halách a výrobní proces můžeme s přehledem rozdělit do tří základních skupin. Jedná se o výrobu jemných drátů, jemných spirál a produkci speciálních osvětlovacích komponentů, která zahrnuje výrobu lamp pro projekční, TV a jinou techniku.

Prioritou závodu je však výroba wolframového a molybdenového drátu, ze kterých jsou následně vyráběny wolframové spirály produkované pro kterýkoliv ze 48 závodů firmy, na montáž lamp a osvětlení, rozsetých po celém světě. Tento wolframový drát a v konečném produktu wolframová spirála, je svítící těleso a tím pádem i jádro celé žárovky. Je proto nesmírně důležité dbát na kvalitu těchto výrobků a všemi možnými prostředky vyhovět zákazníkovi, ovšem s co největším zaujetím také na ekologičnost celé výroby. Kvalita výrobků je největší závazek firmy OSRAM a právě proto je tato společnost stále na vzestupu. Snaží se vyrábět kvalitní světelné zdroje se zaručenou spolehlivostí a maximální výdrží, což by měl být předpoklad pomocníků zvaných žárovky. [1]

2. PRODUKCE FIRMY

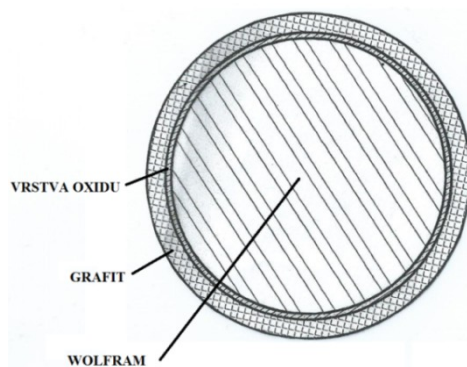
Produkce firmy je založena na výrobě jemného drátu a to ve dvou dostupných variantách. Jde o drát jemný černý, nebo jemný čištěný. Jejich jednotlivé tolerance uvádí **tabulka 1**.

Forma		Průměr Tolerance	Způsob dodávky	
Jemný drát černý nebo čištěný	122 mg/200 mm (= 0,20 mm) - 1 mg/200 mm	± 1,5% (ve mg/200mm)	viz "cívky a Navijáky "	BSD BSD SVA
Jemný drát černý	1 mg/200 mm - 0,4 mg/200 mm	± 0,015 mg / 200 mm		BSD BSD SVA
Jemný drát čištěný	1 mg/200 mm - 0,2 mg/200 mm			

Tabulka 1. Rozměry a tolerance drátu [2]

Tažený drát:

Tento drát disponuje oxidační povrchovou vrstvou obalenou v grafitu. Obr. 2. Produkt je velice vhodný pro opakované tažení, kdy grafit v obalu drátu není rušivý, nebo je vlivem dalšího opracování odstraněn. Používán je zejména pro spirály, kde není grafitový obal škodlivý. Ovšem ne vždy je možné tažený drát aplikovat pro správnou funkci výrobku. Proto firma OSRAM nabízí také jiné varianty drátů. [2]



Obrázek 2. Průřez wolframového drátu. [3]

Čištěný drát:

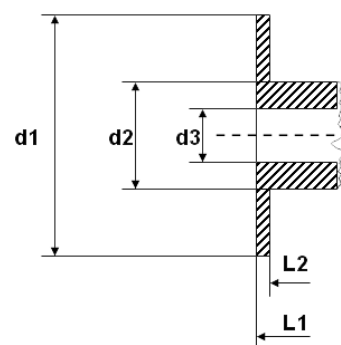
Výrobce uvádí, že tento typ drátu je dobré užít v případě, že je grafitová vrstva v procesu nežádoucí. Drát je elektrolyticky čištěn, nebo se grafitový povlak žíhá s kyslíkem. Po operaci čištění je možné konstatovat rozdílnou lesklost drátu. [2]

Dráty pro halogenovou technologii:

Drát používaný zejména pro výrobu halogenových lamp, zářivek atd. Platí zde velice přísná kritéria pro jeho výrobu a následnou kontrolu. [2]

Dostupné typy cívek firmy OSRAM:

Cívka typu	Materiál	Rozměry / mm				
		d1	d2	d3	L1	L2
B1	Novodur GV	120	105	10	20	15
B5	ABS-GV	60	44	14	38	28
B5 / 1	ABS-GV	60	44	14	35	28
B6	ABS-GV	135	108	14	38	28
B16	ABS-GV	148	108	14	60	50
F4 (K)	St Vern polykarbonátu. GV	116	100	98	21,6	20
			102,5	98,5	24	20,1
F6 (K)	ST ven. ABS	250	218	215	37	30
		253,30	221,5			



Obrázek 3. Rozměry cívky [2]

Tabulka 2. Typy cívek [2]

V experimentální části bakalářské práce, uvedené v dalších kapitolách, byly použity cívky typu B5 s průměrem d1= 60mm, d2=44mm, d3= 14mm a rozměry L1= 38mm a L2=28mm.

3. PRINCIP TAŽENÍ DRÁTU

Obecně lze proces tažení definovat jako protahování polotovaru otvorem průvlatku, kdy zmenšujeme příčný průřez a zvětšujeme délku drátu. Při této tvářecí operaci se dosahuje dokonalých rozměrů a přesných tvarů. Proces ovlivňuje také kvalitu a mechanické vlastnosti materiálu. Nástroj, který je prioritní v celém procesu, je nepohyblivý. Pro dokonalé tažení drátu je primárně nutné užití maziva. To musí v největší možné míře snížit součinitel tření, co nejdokonaleji odvádět teplo a především zajistit hladký povrch. [4]

Tažení je popsáno jako plastická deformace materiálu, kdy drát prochází jednotlivými kuželovitými průvlakami a tím dojde k jeho prodloužení ve směru primárně působícího napětí. Zároveň dochází ke zmenšení plochy v příčném průřezu materiálu. Drát ovšem zvyšuje svoji pevnost, mez pružnosti a průtažnost. Roste také tvrdost a snižují se plastické vlastnosti jako jsou prodloužení a zúžení. [5]

Aby nedocházelo k častému přetrhávání drátu během tažení, musí být na tažících zařízeních dodržen zákon rovnosti objemu drátu (1),(2) procházejících průvlakem za určitý čas. [5]

$$S_0 \cdot L_0 = S_1 \cdot L_1 = S_2 \cdot L_2 = \dots = S_n \cdot L_n \quad (1)$$

$$S_0 \cdot v_0 = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = \dots = S_n \cdot v_n \quad (2)$$

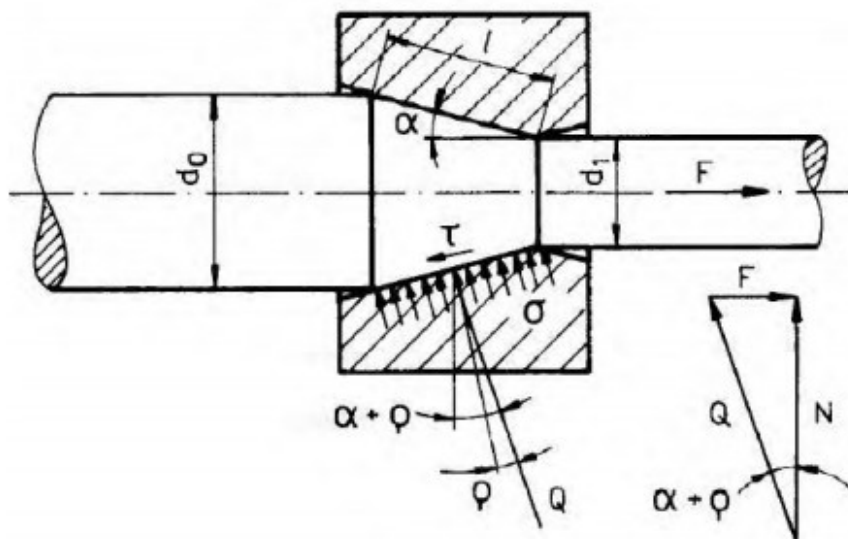
kde: $S_0, S_1, S_2 \dots S_a$ jsou průřezy drátu,

$L_0, L_1, L_2 \dots L_a$ jsou délky drátu,

$v_0, v_1, v_2 \dots v_a$ jsou rychlosti drátu. [5]

Kuželovitá část průvlaků zajišťuje při tažení vrcholový úhel 2α , viditelný na **obr. 4**.

Působením vnější tahové síly F , je v deformačním pásmu způsobena příčná síla Q a ta se projevuje na povrchu průvlaku délky l . Tato síla s označením Q působí pod úhlem $\alpha + \rho$ a to díky tření povrchu drátu s pracovní částí průvlaku vzhledem k vertikální složce síly N . [5]



Obrázek 4. Rovnovážné síly v otvoru průvlaku dle E. Siebela [5]

Z trojúhelníku sil lze stanovit základní rovnici (3) pro tahovou sílu:

$$F = Q \cdot \sin(\alpha + \rho) \quad (3)$$

kde d_0, d_1 je vstupní a výstupní průměr

$$F = N \cdot \tan(\alpha + \rho) \quad (4)$$

2α je úhel tažné části průvlaku

ρ je třecí úhel

τ smykové napětí

σ střední tlakové napětí

F tahová síla

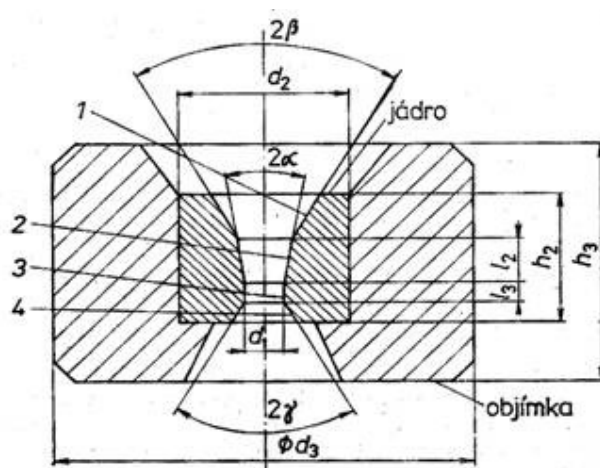
Q příčná síla

[5]

3.1 Průvlaky:

Nástroj zajišťující tažení drátu se nazývá průvlak. Ten je nepohyblivý a je znatelně namáhaný na otěr. Průvlaky a jejich životnost je závislá na materiálu, ze které jsou vyrobeny. Ocelové průvlaky jsou vyráběny se životností k výrobě přibližně 2 tun drátu. Naopak diamantové průvlaky jsou téměř nezničitelné. Kvalita a zpracování průvlaků má podstatný vliv na jakost vyráběného produktu. Existují dvě varianty průvlaků a to jednoduché, nebo skládané. [4]

Schéma a tvar průvlaku je popsán na **obr.5**



Obrázek 5. Schéma průvlaku [4]

Průvlak tvoří kužely o rozdílných vrcholových úhlech. Jejich funkce je dána názvem.

- 1) *vstupní kužel* (zaváděcí) – úhel otevření 45 až 60°,
- 2) *mazací* – rozestírá mazivo kolem polotovaru pod úhlem 45 až 60°,
- 3) *tažný* – tažný kužel s úhlem 10 až 12°,
- 4) *kalibrační a výstupní* – válcovitého tvaru, zajišťující hladký povrch [4]

3.2 Maziva:

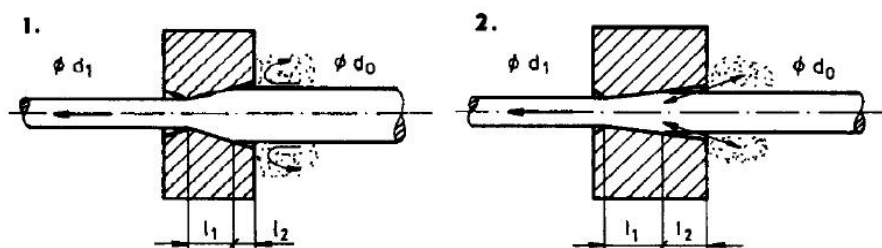
Mazivo a mazací soustava je při výrobě drátu velice významným faktorem. Jeho složení a především vhodná aplikace tvoří nedílnou součást celého tažirenského průmyslu.

Proces tažení vytváří mezi povrchovou vrstvou drátu a průvlakem třecí ztráty. Ty mají různou velikost s ohledem na stav jednotlivých povrchů, parametrů tažení a především na zvoleném mazivu. Je proto nezbytné, aby hodnota koeficientu kluzného tření byla v těchto místech co nejnižší. Kluzné tření je možné rozdělit na čtyři typy (tření suché, hraniční, hydrodynamické a smíšené) viz. **obr. 6.** [6]



Obrázek 6. Stribeckova křivka, závislost koeficientu tření na viskozitě maziva, relativní rychlosti třecích ploch a plošném tlaku.[6]

Důležitá je také správná aplikace maziva na drát. Na **obr. 7** je viditelná závislost délky třecího kužele na množství nabíraného maziva. V levém obrázku označeným č.1 je tato vzdálenost příliš krátká a při deformaci drátu má mazivo příliš nízký tlak. Pravý obrázek s číslem 2 má zobrazovat systém mazání, kdy je vytvořen tzv. dynamický tlak, při kterém mazivo nemůže proudit zpět a je tedy ovlivněn směr toku tohoto maziva do průvlaku. [6]



Obrázek 7. Vliv geometrie mazání na tažení [6]

Jako mazadla jsou při tažení nejčastěji používány oleje, nebo emulze na základě směsi oleje nebo vody. Z důvodu ekologičnosti, ve prospěch životního prostředí se při výrobě drátů počítá s několika měsíčními cirkulacemi těchto emulzí. Dle chemického složení maziv je můžeme rozdělit na minerální oleje, mýdla, emulze, maziva s plnidly, rostlinné oleje, živočišné tuky, a jiné. [6]

4. VYSOKOTAVITELNÉ KOVY

V této kapitole lze najít podstatné informace o vysokotavitelných kovech, wolframu a molybdenu, produkovaných firmou OSRAM. Zde se wolframový drát využívá pro výrobu žhavicích vláken, nebo spirál v různých provedeních a tvarech. Molybdenový drát je používán jako držák wolframových vláken v žárovce, nebo jako jádro pro výrobu spirál.

Nyní si uvedeme několik detailních informací o těchto důležitých materiálech.

4.1 Wolfram

Wolfram nese v periodické soustavě prvků označení písmenem W. Jedná se kov vyznačující se šedou barvou, podobné oceli. Předností tohoto materiálu je vysoká teplota tavení a to 3400 °C a nejvyšší měrná hmotnost ze všech kovů, 19,1 g/cm³. Mluvíme o houževnatém materiálu s pevností 880 až 1078 MPa. Chemickým složením je tento kov velice stálý odolává vlhkosti a nelze narušit ani působením běžných kyselin. Ovšem výraznější oxidační činidla (peroxid vodíku), fluór, a kyselina fluorovodíková na něj mají podstatnější vliv. [7]

Praktické využití wolframu je možno nalézt jak v čistém stavu, tak i v různých slitinách či sloučeninách. Pro čistý wolfram věda a výzkum našla uplatnění především ve vlákních žárovkách. Využívá se skvělých vlastností za vysokých teplot, což je pro vlákna žárovek důležité zejména při teplotách nad 2000 °C ve vakuu. Při kombinaci vláken s jinými plyny jako jsou dusík nebo argon se dostáváme ještě do vyšších hodnot, asi o 300 °C. Čistý wolfram se také užívá pro elektrody obloukových lamp, elektrické kontakty, termoelektrické články pro snímání vysokých teplot, topné odpory. [7]

Na světovém trhu je produkce wolframu následující. Asi 37 % kovu putuje k produkci legované oceli, ze 24 % se vyrábí slinuté karbidy, 10 % se užívá k výrobě litých karbidů, 15 % k výrobě polotovarů z čisté složky wolframu a wolframových slitin a 14 % je využíváno k jiným účelům. Největší naleziště v Evropě se nachází v Rusku, Španělsku, V. Británii a Portugalsku. Zásoby tohoto kovu jsou přibližně 1,25 mil. tun. [7]

Wolfram, tak jako molybden nabývá funkce důležitého legujícího prvku ocelí. Těm je schopen přidat potřebnou tvrdost pro tvorbou karbidů a odolnost proti opotřebení. Wolfram se stává podstatným také u rychlořezných nástrojů vyráběných z oceli, jako legující prvek. Důležitý je také pro práškovou metalurgii, s uhlíkem vytváří wolframové karbidy. Jedná se o slinuté karbidy označované například jako widia, nebo diadur. [7]

Veličina	Hodnota
Relativní atomová hmotnost	183,84 (1) <u>amu</u>
Teplota varu	5 555°C, 5828 K, 10031°F
Teplota tání	3422°C, 3695 K, 6191 °F
Hustota	19,25 g · cm ⁻³
Hustota při teplotě tání	17,6 g /cm ⁻³
Tvrdost	7,5 g /cm ⁻³
Měrný elektrický odpor při 20°C	0,056 až 0,083 <u>μΩ</u> *cm
Teplotní součinitel elektrického odporu	0,045 až 0,0051 K ⁻¹
Poissonova konstanta	0,284

Tabulka 3. Vlastnosti wolframu [8]

4.2 Molybden

Kovový prvek s chemickou značkou Mo vyskytující se ve stříbřitém až šedobílém zbarvení. Je charakteristický svojí tvrdostí, zároveň křehkostí a vysokým bodem tání. Molybden je v atmosféře stálý kov, odolává působení vody. Vůči kyselinám je stálý a zejména oxidačně reagující kyseliny pasivují další vrstvy před dalšími negativními vlivy. Snadno jej lze rozpustit například v roztoku kyseliny chlorovodíkové nebo lučavce královské. [9]

Výroba kovu je prováděna redukcí molybdenového za působení vodíku, to vše se děje ve fluidních pecích v jednotlivých teplotních pásmech. [10]

V praxi se molybden vyskytuje nejčastěji, mluvíme-li o metalurgii a výrobě speciálních magnetických, rychlořezných a kyselinovzdorných ocelí. wolframové dráty se užívají jako nosiče vláken u žárovek. Malá příměs molybdenu účinně zvyšuje tvrdost produkované slitiny, zvyšují se také mechanické a korozní vlastnosti. Díky této vlastnosti si kov získal oblibu především u mechanicky zatěžovaných strojů, kovoobrábění. Díky velkým antikorozním vlastnostem, odolnosti vůči tlaku a vysoké teplotě je používán pro materiál reaktorů. Užívá se také pro výrobu petrochemických katalyzátorů, které jsou schopny odstranit sirné sloučeniny z ropy. [10]

Veličina	Hodnota
Relativní atomová hmotnost	95,96 amu
Teplota varu	4638 °C, 4912 K,
Teplota tání	3422 °C, 3695 K,
Hustota	10,28 g · cm ⁻³
Modul pružnosti v tahu	411 GPa
Tvrdost	5,5 g /cm ⁻³
Měrný elektrický odpor při 20°C	53,4 μΩ* m

Tabulka 4. Vlastnosti molybdenu [9]

5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část bakalářské práce na téma ověření homogenity materiálových a kvalitativních vlastností, zkoumá jednotlivé vlastnosti vyráběného produktu a následně je vyhodnocuje pomocí statistických metod měření. V první části je popsán popis a základní parametry měření průměru drátu, které je zároveň prioritním ukazatelem kvality produktu. Další pasáž práce obsahuje měření odporu drátu pomocí speciální čtyřvodičové metody, kde jsou vedle základních principů celé metody popsány také hodnoty a rozsahy měřících hodnot. V poslední části této kapitoly je obsaženo stručné seznámení s trhacím strojem, na kterém bylo měřeno hned několik důležitých parametrů, co se pevnosti materiálu týče.

5.1 Měření průměru

Přístroje pro měření velmi jemného drátu.

Původní nástroje, použitelné pro měření průměru drátu, byly navrženy a sestaveny v roce 1987 pro splnění těch nejnáročnějších poptávek po in-line měření v té době.

Hledalo se řešení pro přesné a okamžité měření jemného drátu, již při samotné výrobě, ale také v laboratořích zaměřených na ultra jemné dráty. [11]



Obrázek 8. Snímač značky Cersa [11]

Experiment, který obsahoval měření velmi malých průměrů drátu o šířce okolo 19 μm , bylo nutné měřit na speciálním zařízení značky Cersa, metodou značenou zkratkami LDS (*Laser Diffraction Sensor*). Jedná se o dvouosé měření, kontrolované laserovým difrakčním snímačem, který je umístěn v těle přístroje. **Obr. 8.** Měření průměru na přístroji zapůjčeném firmou OSRAM probíhalo offline při klasické pokojové teplotě, ovšem všechny naměřené hodnoty průměru byly zapisovány pro pozdější vyhodnocování statistickým programem.

Průměr drátu se v dalším testování ukázal jako důležitý prvek a tyto průměrné hodnoty ze tří opakujících se měření bylo nutné vpisovat do speciálního softwaru, jako parametr k následujícímu výpočtu pevnosti měřeného drátu.

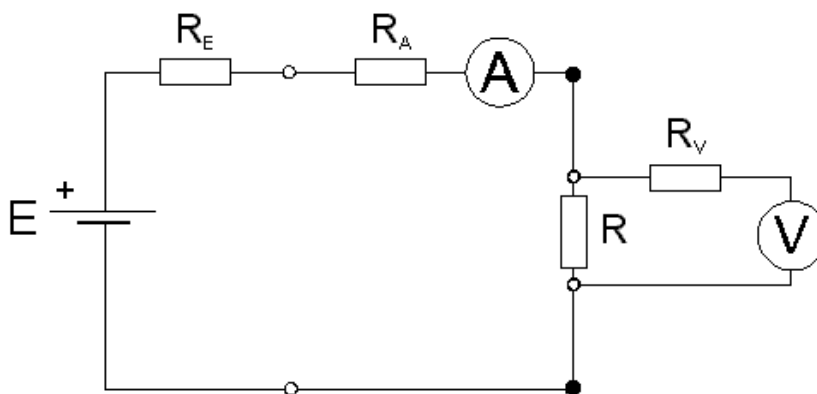
5.2 Měření odporu drátu



Obrázek 9. RESISTOMAT 2316 [12]

Zkoumání odporu, jakožto fyzikální veličiny s charakteristickou schopností vést elektrický proud vodičem, není v dnešní době nikterak složité. Téměř v každé domácnosti lze najít jednoduchá měřidla pro stanovení hodnot odporu. Ovšem pro experimentální účely jsou tyto měřidla značně nevyhovující, zejména co se přesnosti týče. K přesným a pro výzkum vyhovujícím hodnotám odporu lze využít značně přesnější metody měření. Jednou z těchto více přesných je čtyřvodičová metoda měření odporu, kterou v experimentu ověření homogenity, v části zkoumání odporových hodnot, zastupuje přístroj RESISTOMAT 2316 vyráběný německou značkou Burster. Co se obecného užití týče, výrobce uvádí možné použití jak v laboratořích, tak i v těžkých průmyslových podmínkách, díky své robustní stavbě.

Základním principem měřidla je již zmiňovaná čtyřvodičová metoda měření, jejíž schéma je na **obr.10**. Tato metoda je používána při měření velmi malých odporů a to zejména pro svoji přesnost s uváděnými rozsahy od 2 mΩ do 200 kΩ [12]. Měření se provádí upnutím do speciálního přípravku se čtyřmi zakomponovanými svorkami. Průchodnost měřeného materiálu a hodnota odporu je s minimální odezvou zobrazena na displeji měřidla. Stablní hodnota každého měřeného vzorku byla zapsána a následně vyhodnocena v technické zprávě. [16]

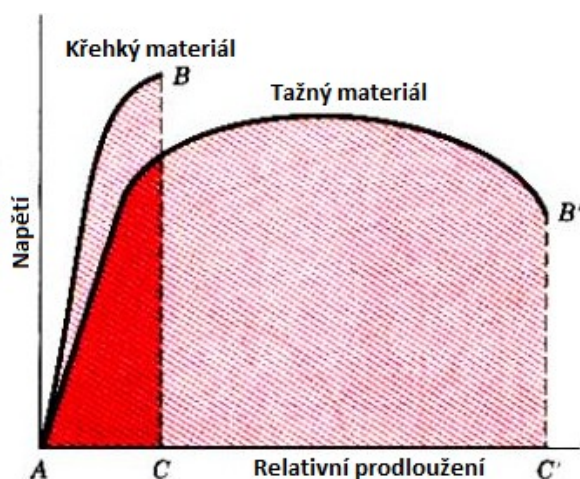


Obrázek 10. Schéma čtyřvodičové metody měření odporu [13]

5.3 Měření pevnosti drátu

Pevnost je fyzikální vlastnost všech pevných látek, které se vyznačují odolností proti vnějším působícím silám. V experimentu nás zajímají především hodnoty meze pevnosti a tažnosti zkoumaných vzorků.

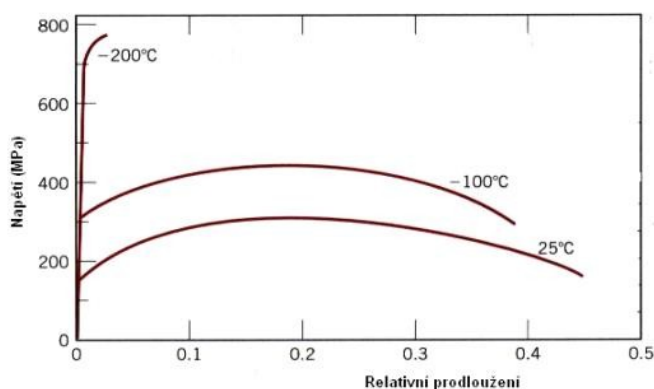
Mez pevnosti lze definovat jako maximální napětí počítané k průřezu tělesa zatěžovaného tahem, než dojde k jeho přetržení. A co se tažnosti materiálu týče, lze ji popsat jako velikost plastické deformace, kterou je třeba dodat materiálu do lomu. Materiály, u nichž tato veličina nabývá nízkých hodnot, lze nazvat jako křehké, na rozdíl od materiálů tažných, u kterých je plastická deformace do lomu velká. Jejich porovnání zobrazuje **obr.11**. [14]



Obrázek 11. Křivka $\sigma = f(\epsilon)$ pro křehké a tažné materiály [14]

Z obrázku vidíme, že tažnost lze vyjádřit jako veličinu, úměrnou ploše pod křivkami $\sigma - \epsilon$.

Z **Obr. 12** můžeme zjistit, že tažnost je zásadní funkcí teploty. [14]



Obrázek 12. Vliv teploty na tvar křivky $\sigma = f(\epsilon)$ [14]

V experimentu bylo na tah testováno všech 127 cívek po třech opakováních. Celkem tedy vzniklo 381 záznamů tahových zkoušek s velice podobnými parametry. S pomocí již přeměřených a vyhodnocených hodnot průměru mohly být vepsány vstupní parametry drátu do měřicího softwaru. Tahovou zkoušku a vyhodnocení perfektně zvládl německý stroj Zwick/Roell BT1-FR0.5TH.D14 uvedený na **obr.13**.

Důležité parametry stroje:

Maximální zatížení: 0,5 kN

Předzatížení: 0,2 N

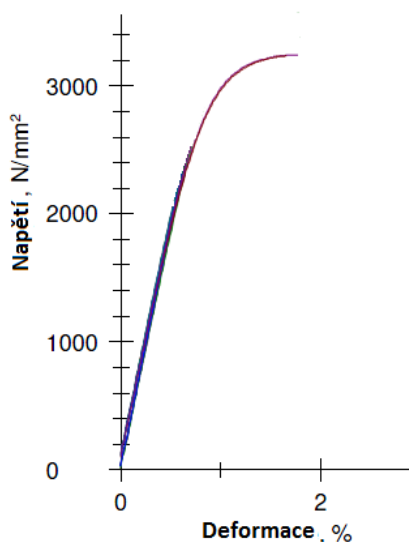
Délka zkoušeného vzorku: 100 mm

Rychlost zatěžování: 60 mm/min



Obrázek 13. Trhací stroj značky Zwick/Roell [15]

Stroj provedl tahovou zkoušku, ze které během několika vteřin vyhodnotil jak vstupní parametry, kterými byly zadaná délky a průměry vzorků, tak i hledanou mez pevnosti a tažnost. Důležitý byl také vykreslený graf s průběhy celého zatěžování drátu uvedený na **obr. 14**.



Obrázek 14. Graf trhací zkoušky [16]

6. ZÁVĚR - VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU:

Po dokončení měření všech pěti základních vzorků, převinutých na jednotlivé cívky vzniklo mnoho důležitých hodnot, informací a materiálů, které z ochrany vnitřních údajů firmy OSRAM v této pasáži nemohou být zveřejněny.

Závěrečným slovním zhodnocením lze konstatovat, že experiment byl bez jakýchkoliv problémů dokončen, všechny vzorky podlely měření průměru, odporu a pevnosti materiálu. Průměr drátu byl měřen jak pomocí ručního měření, tak i automatickým snímačem průměru již po tažení drátu při jeho samotné výrobě. Dosažené výsledky, materiály a detailní informace, včetně jednotlivých hodnot ze všech měření jsou uvedeny v Technické zprávě [16].

Pokud budeme hledat nejlepší dosažené výsledky experimentu, bude se jednat o vzorek s označením A, který dopadl v testování nejlépe. Vzorky A mohou být stanoveny jako homogenní po celé své více než pětikilometrové délce. S minimálními rozdíly v naměřených hodnotách jsou schopny splnit veškeré požadované tolerance a mají všechny parametry kvalitně a přesně vyrobeného drátu. Všechny ostatní vzorky, tedy B, C, D, E, se setkávají s problémem. V naměřených hodnotách disponují zejména poslední vzorky těchto cívek příliš vysokými hodnotami, což je nepřipustné. A to mluvíme-li o průměru a v závislosti na něm i na pevnosti a taktéž i odporu. Výsledky u těchto vzorků ukazují nárůst měřeného průměru přibližně o 10 %.

Jako problémové se v experimentu jeví konečné vzorky čtyřech z pěti testovaných cívek. Jelikož byly cívky převinuty, jedná se tedy o problém na počátku každé z cívek B, C, D, E. Je zde tedy podstatná chyba již v procesu jejich výroby. A lze hovořit o počátku tvářecího procesu výroby drátu. Rozhodně můžeme mluvit o prvních několika desítkách metrů nově taženého drátu. Po konzultaci s vedením výroby je možné u těchto vzorků konstatovat tzv. „ studené konce drátu“ , které zásadním způsobem ovlivňují vlastnosti materiálu, zejména na jeho začátcích. Tvářecí stroj nemá na několika prvních metrech cívky potřebné parametry k tomu, aby vytvořil kvalitní materiál. Zejména výhřev pece a její teplota jsou v tomto ohledu podstatné, tak jako správně vyladěné navíjení drátu.

Z experimentu plyne závěr, že cívka nesoucí označení A je plně homogenní po celé své délce. Zbylé čtyři cívky B, C, D, E nesplňují kritéria požadovaná výrobním procesem firmy OSRAM.

7. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZŮ :

Číslo	Popis	Strana	Zdroj
Obr. 1	Logo firmy OSRAM	5	[1]
Obr. 2	Průřez wolframového drátu	6	[3]
Obr. 3	Rozměry cívky	7	[2]
Obr. 4	Rovnovážné síly v otvoru průvlaku dle E. Siebela	9	[5]
Obr. 5	Schéma průvlaku	10	[4]
Obr. 6	Stribeckova křivka, závislost koeficientu tření na viskozitě maziva, relativní rychlosti třecích ploch a plošném tlaku.	11	[6]
Obr. 7	Vliv geometrie mazání na tažení	11	[6]
Obr. 8	Snímač značky Cersa	15	[11]
Obr. 9	RESISTOMAT 2316	16	[12]
Obr. 10	Schéma čtyřvodičové metody měření odporu	16	[13]
Obr. 11	Křivka $\sigma = f(\epsilon)$ pro křehké a tažné materiály	17	[14]
Obr. 12	Vliv teploty na tvar křivky $\sigma = f(\epsilon)$	17	[14]
Obr. 13	Trhací stroj značky Zwick/Roell	18	[15]
Obr. 14	Graf trhací zkoušky	18	[16]

8. SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK :

Číslo	Popis	Strana	Zdroj
Tab. 1	Rozměry a tolerance drátu	6	[2]
Tab. 2	Typy cívek	7	[2]
Tab. 3	Vlastnosti wolframu	13	[8]
Tab. 4	Vlastnosti molybdenu	14	[9]

9. POUŽITÁ LITERATURA:

[1] OSRAM. *Firemní profil* [online]. 2012 [cit. 2013-05-14].

URL: <http://www.osram.cz/osram_cz/O_spolenosti/Spolenost/Firemn_profil/index.html>

[2] Product CATALOG. OSRAM [online]. 2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: http://www.osram.cz/osram_cz/PRODUCT_CATALOG/Tungsten_wire/Forms_and_properties/index.html

[3] Interní materiál firmy OSRAM

[4] Technologie objemového tváření: tažení drátů a profilů. *Katedra tváření kovů a plastů* [online]. [2010] [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/04.htm

[5] FABÍK, Richard. *Vybrané kapitoly z tváření kovů: Tažení/Tváření kovů* [online]. VŠB-TU Ostrava, 2008 [cit. 2013-05-08]. URL: <<http://www.fmfi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fmfi/cs/okruhy/urceno-pro/studenty/podklady-ke-studiu/studijni-opory/633-Fabik-Vybrane-kapitoly-z-tvareni-kovu-kap-1-5.pdf>>

[6] FABÍK, Richard. *Vybrané kapitoly z tváření kovů: Tažení/Tváření kovů* [online]. VŠB-TU Ostrava, 2008 [cit. 2013-05-08]. URL: <<http://www.fmfi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fmfi/cs/okruhy/urceno-pro/studenty/podklady-ke-studiu/studijni-opory/633-Fabik-Vybrane-kapitoly-z-tvareni-kovu-kap-6-10.pdf>>

[7] WOLFRAM. *WOLFRAM (Wolframium)* [online]. 2005 [cit. 2013-05-15].

Dostupné z: <http://www.nom.wz.cz/KOVY/wolfram.htm>

[8] Wolfram. *Wolfram* [online]. 2001 [cit. 2013-05-15].

Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Wolfram>

[9] Molybden. *Molybden* [online]. 2001 [cit. 2013-05-15].

Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Molybden>

[10] Periodická tabulka. *Molybden* [online]. 2009 [cit. 2013-05-15].

Dostupné z: <http://www.prvky.com/42.html>

[11] CERSA-MCI. *LDS: Laser Diffraction Sensor* [online]. 2011 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.cersa-mci.com/en/instruments/theme-2-fine-wires/id-2-lds-laser-diffraction-sensor>

[12] Resistomat 2316. *Meatest* [online]. 2013 [cit. 2013-05-15].

Dostupné z: <http://www.meatest.cz/produkty-resistomat-2316-detail-8>

[13] Schéma čtyřvodičové metody měření odporu. *Elektronika* [online]. 2002 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektronika/images/kap4>

[14] Fyzikální základy vědy o materiálu. *Pedagogická fakulta Masarykova univerzita* [online]. 2009 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/>

[15] Zkušební stroje zwicki-Line. *Zwick/ Roell* [online]. 2011 [cit. 2013-05-15].

Dostupné z: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=3758>

[16] MIČO, Vladimír. *Technická zpráva: Ověření homogenity materiálových a kvalitativních vlastností vyráběného produktu*. Ostrava, 2013. 26 s. Bakalářská práce. VŠB-TU Ostrava.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce, panu Ing. Janu Povýšilovi, Ph.D. a panu Bc. Ondřeji Vicanovi za vedení při odborné praxi a měření, poskytování podstatných rad a informací při tvorbě bakalářské práce.